

УДК 539

ВЛИЯНИЕ УГЛА УСТАНОВКИ НОЖКИ ЭНДОПРОТЕЗА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА НА НДС СИСТЕМЫ «КОСТЬ-ИМПЛАНТАТ»

Куриленко А.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск

In this article the setting angle of the leg prosthesis of the hip joint in the bone has been under consideration.

Возникновение нежелательных явлений при установке эндопротеза тазобедренного сустава может привести к ряду осложнений, таких как развитие вывихов эндопротеза, интенсивный износ компонентов узла трения протеза, формированию нестабильности и его безотказной работы.

Данная работа посвящена изучению влияния угла установки ножки эндопротеза тазобедренного сустава на распределение нагрузки в системе «кость-имплантат». Полученные результаты позволят прогнозировать поведение системы «кость-имплантат» и определить оптимальные условия для установки ножки эндопротеза. Вызывает интерес нахождение зоны опасного сечения, где будут возникать наибольшие значения напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «кость-имплантат».

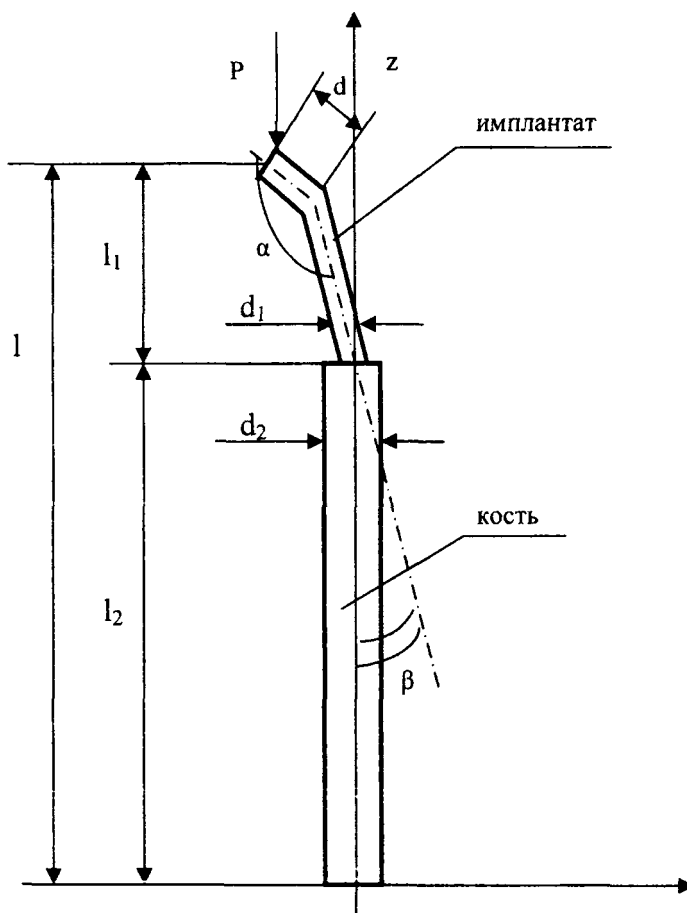


Рис. 1. Схема установки имплантата

Запишем физико-механические и геометрические характеристики кости и имплантата. Кость: $E_1 = 10^{10}$ Па, $I_1 = 2,5 \text{ см}^4$, $l_1 = 45 \text{ см}$, $d_1 = 2,7 \text{ см}$; имплантат: $E_2 = 1,1 \cdot 10^{11}$ Па, $I_2 = 0,14 \text{ см}^4$, $l_2 = 15 \text{ см}$, $d_2 = 1,3 \text{ см}$. Задачу о влиянии угла установки ножки эндопротеза β на НДС системы «кость-имплантат» рассмотрим при $P = 700 \text{ Н}$, $d = 6 \text{ см}$, $\alpha = 132^\circ$ (рис. 1)

В [1] была найдена функциональная зависимость погибов, которая имеет следующий вид:

$$y = \begin{cases} [0,058d \sin(\alpha - \beta) + l_2 \sin \beta] \sin 2,24z & \text{при } 0 \leq z \leq \frac{3}{4}l, \\ [d \sin(\alpha - \beta) + l_2 \sin \beta](0,606 \sin 2,98z + 0,112 \cos 2,98z - 0,57) & \text{при } \frac{3}{4}l \leq z \leq l, \end{cases} \quad (1)$$

где $l = l_1 + l_2$ – длина эндопротеза и тазобедренной кости вместе; α , d – фиксированные параметры эндопротеза; β – угол установки ножки эндопротеза (см. рис. 1).

С учетом $\alpha > \beta$ выражение в квадратных скобках в формуле (1) будет максимальным при $\beta = \arctg\left(\frac{l_2}{d} \operatorname{cosec} \alpha - \operatorname{ctg} \alpha\right)$, численно $\beta \approx 1 \text{ рад} \approx 57^\circ$.

Проводим исследование на определение опасного сечения по высоте z . В первой строке формулы (1) имеется сомножитель – функция $\sin 2,24z$, который достигнет максимального значения при $z = \frac{3}{4}l$ м, так как функция $\sin z$ является возрастающей в первой четверти. Аналогично, при исследовании на экстремум второй строки уравнения, выясняем, что максимум функции достигается также при $z = \frac{3}{4}l = 0,45 \text{ м}$. Отсюда делаем вывод, что наиболее опасное сечение будет в месте соединения имплантата и кости.

Проведем расчеты во всем диапазоне z для оценки влияния угла установки ножки эндопротеза тазобедренного сустава на НДС системы «кость-имплантат». Из врачебной практики известно, что реальное значение угла установки ножки эндопротеза тазобедренного сустава β не превышает 15° . Подставив в (1) исходные данные получим:

$$y = \begin{cases} 0,033 \sin 2,24z & \text{при } 0 \leq z \leq \frac{3}{4}l, \\ 0,0573(0,606 \sin 2,98z + 0,112 \cos 2,98z - 0,57) & \text{при } \frac{3}{4}l \leq z \leq l. \end{cases} \quad (2)$$

Используя формулу $EIy''(z) = -M(z)$ найдем изгибающий момент в произвольном сечении $M(z)$, где EI – жесткость модели при изгибе [3]. Имеем:

$$y'' = \begin{cases} -2,24^2 \cdot 0,033 \sin 2,24z & \text{при } 0 \leq z \leq \frac{3}{4}l \\ -2,98^2 \cdot 0,0573(0,606 \sin 2,98z + 0,112 \cos 2,98z) & \text{при } \frac{3}{4}l \leq z \leq l \end{cases} \quad (3)$$

По формуле $\sigma_{\max} = \frac{M(z)}{W}$ определим максимальное нормальное напряжение, где

$$W = \frac{I}{d/2} - \text{момент сопротивления.}$$

Проведем расчет значений прогибов, моментов и напряжений с шагом 0,1 м со стыковкой в опасном сечении при $z = \frac{3}{4}l = 0,45$ м.

Полученные результаты сведем в табл. 1 для $\beta = 15^\circ$.

Таблица 1

z, м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,45		0,5	0,6
y, м	0,0007	0,0014	0,0021	0,0026	0,0028	0,0026	0,0025	-0,0001
y'', м	0,0037	0,0072	0,0104	0,0130	0,0141	0,3132	0,3119	0,2889
M, Н·м	0,9	1,8	2,6	3,2	3,5	48,2	48,0	44,5
σ, МПа	0,5	1,0	1,4	1,7	1,9	2,2	2,2	2,1

Построим эпюры прогибов, моментов и напряжений (рис. 2).

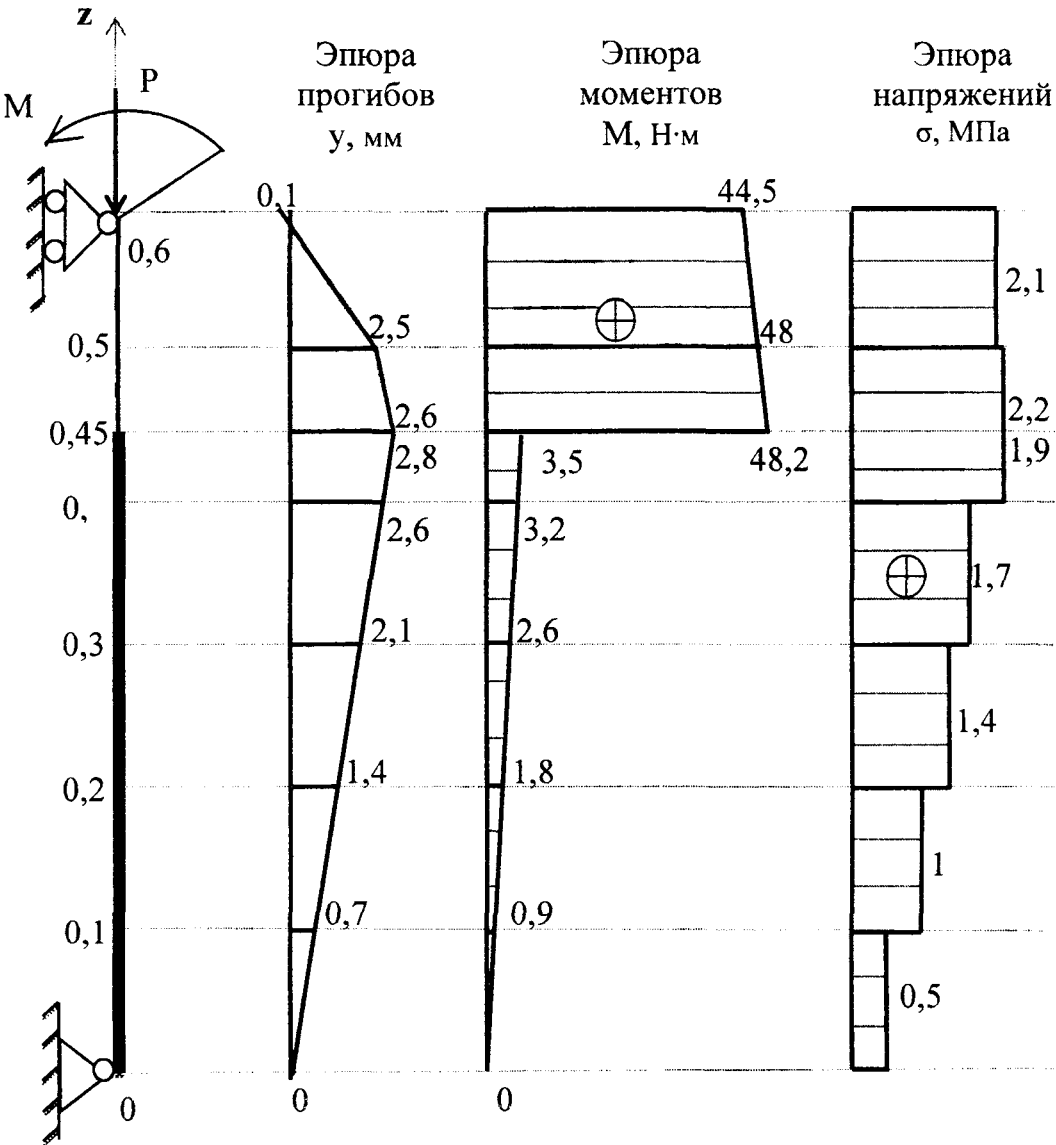


Рис. 2. Эпюры прогибов, моментов и напряжений

Полученные значения подтверждают то, что наиболее опасным, является сечение в месте соединения кости и имплантата и не превышают допустимых для кости $[\sigma]_{\text{доп. кости}} = 20 \text{ МПа}$. Таким образом, разработан алгоритм нахождения места опасного сечения в системе «кость-имплантат» и определения НДС в нем при различных углах установки ножки эндопротеза тазобедренного сустава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куриленко, А.В. Влияние геометрических характеристик эндопротеза на устойчивость и работоспособность системы «кость - имплантат» // Теоретическая и прикладная механика. – Минск: БНТУ, 2010 – Вып. 25. – С. 273–275.
2. Бегун, П.И. Шукейло, Ю.А. Биомеханика: учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2000. – 463с.
3. Сопротивление материалов: учебное пособие по выполнению расчетно-проектировочных работ для студентов всех специальностей и форм обучения. Ч. 2 / Н. Б. Левченко. – СПбГАСУ. СПб., 2001. – 109 с.